

CARACTERIZAÇÃO DE MORFOTIPOS DE CARVÃO COMO BASE PARA INTERPRETAÇÃO PALEOAMBIENTAL: EXPERIMENTOS COM INCÊNDIOS CONTROLADOS EM NOVA FRIBURGO, RIO DE JANEIRO

Juliana Vasconcellos Teani Machado ¹
Karoline Mayume Barbosa Ishimine ²
Ana Carolina Facadio Campello ³
Ana Luiza Coelho Netto ⁴

INTRODUÇÃO

O fogo é um dos principais agentes de perturbação dos ecossistemas tropicais, desempenhando um papel crucial na intensificação das alterações sucessionais na vegetação (Portes et al., 2020). Ao longo do Holoceno, as variações climáticas nas regiões montanhosas do Sudeste do Brasil promoveram modificações significativas na dinâmica da vegetação e alteraram os padrões de ocorrência de incêndios (Behling e Safford, 2010). Essas mudanças na magnitude e frequência de eventos de fogo tem favorecido a degradação da vegetação local. Devido a isso, estão sendo realizados estudos para avaliar os efeitos do fogo na vegetação predominante atual e no passado recente no alto curso da bacia do Rio Macaé (Ishimine, 2024).

A análise de quantificação de carvão vegetal é amplamente utilizada em estudos paleoecológicos para investigar como os sistemas ambientais respondem a diferentes regimes de fogo (Whitlock e Larsen, 2001). Fragmentos macroscópicos de carvão (>125 µm) são essenciais para inferir aspectos de incêndios no passado (Clark e Patterson, 1997; Blackford, 2000; Finsinger et al., 2014). A análise da morfologia e morfometria desses fragmentos possibilita a caracterização das propriedades desses eventos de fogo, como severidade, frequência e intensidade (Blackford, 2000; Mustaphi e Pisaric, 2014). Essas propriedades, por sua vez, impactam na magnitude dos efeitos na vegetação, resultando em um aumento dos processos erosivos (Keeley, 2009; McLauchlan et al., 2020; Pyne et al., 1996).

Poucos estudos foram feitos em florestas tropicais sobre as características do fogo e sua consequência na Mata Atlântica de Nova Friburgo através da morfologia de partículas de carvão. Devido a maior diversidade de espécies encontradas dessa floresta tropical, ela torna-se mais vulnerável a danos significativos causados por incêndios recorrentes. Ishimine

¹ Graduanda do Curso de Geografia da Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, juvteani@gmail.com;

² Doutoranda do Curso de Geografia da Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, karoline.ishimine@gmail.com;

³ Doutora do Curso de Geografia da Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, cfacadio@gmail.com;

⁴ Professora Titular da Universidade Federal do Rio de Janeiro- UFRJ, ananetto@acd.ufrj.br;

(2024) observou que, durante o Holoceno Médio e Tardio, a vegetação local sofreu mudanças em sua estrutura e composição devido a variações na frequência de incêndios. A autora identificou uma redução na frequência e magnitude de incêndios durante a transição do Holoceno Médio para o Holoceno Tardio, seguida por um aumento na recorrência desses eventos nas últimas centenas de anos. Com base em seus resultados, Ishimine (2024) sugere que esses eventos podem estar associados à degradação da cobertura florestal e, mais recentemente, à intensificação de interferências antrópicas.

Bolsas (2023) induziu experimentalmente incêndios superficiais em áreas de vegetação herbácea-arbustiva e de cobertura florestal degradada, produzindo carvão macroscópico que podem ser utilizados como análogos modernos para o estudo de paleoincêndios. Sendo assim, o presente estudo tem como objetivo descrever e classificar a morfologia de partículas macroscópicas de carvão, baseada nas amostras coletadas após os incêndios. Essas análises buscam auxiliar na interpretação de incêndios, ao longo do Holoceno, destacando mudanças nas abundâncias de morfotipos de carvão em diferentes tipos de coberturas vegetais, como floresta secundária degradada e herbácea-arbustiva.

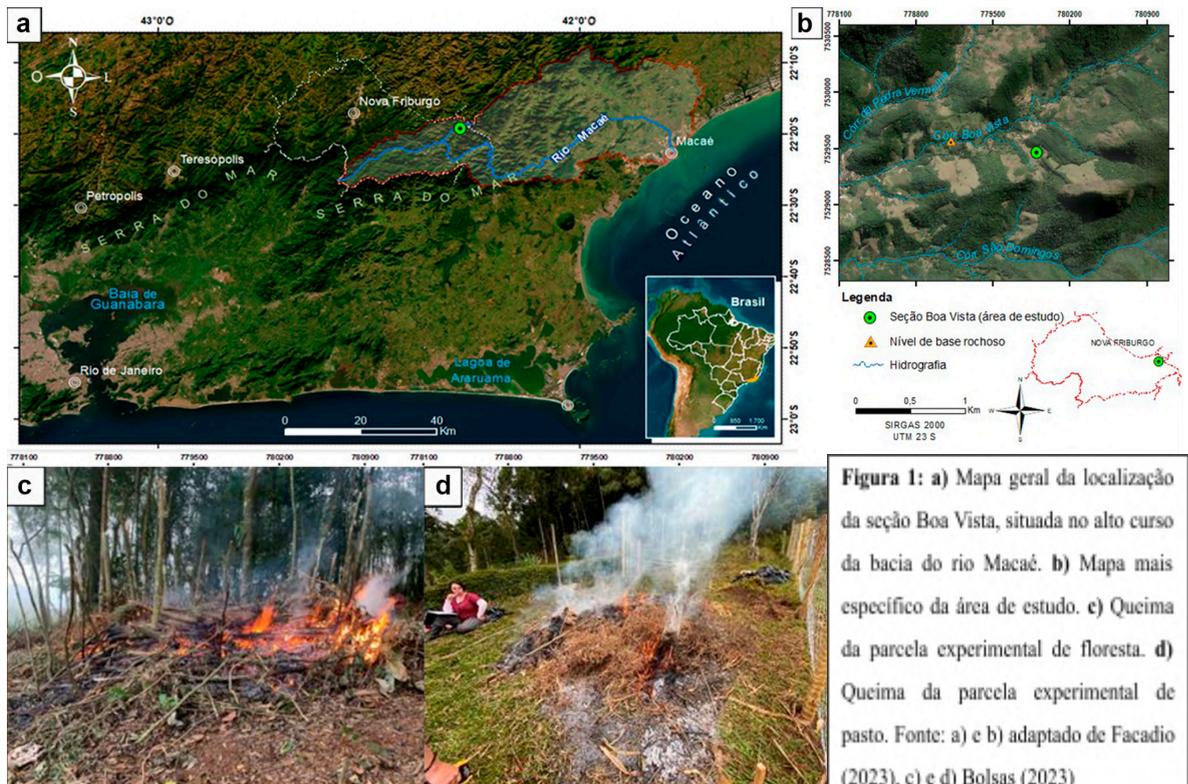
METODOLOGIA

A área de estudo está situada no município de Nova Friburgo, Região Serrana do estado do Rio de Janeiro, no alto curso da bacia hidrográfica do rio Macaé. A bacia do rio Macaé (1.765 km²) drena a Serra do Mar em direção ao litoral, até a sua foz no oceano Atlântico.

O presente estudo concentra-se no alto curso da bacia, onde se encontram os principais mananciais de rios e os fragmentos florestais remanescentes mais bem conservados da Mata Atlântica (Freitas et al., 2015). O sítio amostral escolhido para o estudo está situado a aproximadamente 1.042 metros de altitude, entre as coordenadas 22° 19' 7.16" S e 42° 16' 58.10" O, em uma encosta na margem esquerda do córrego Boa Vista. Este córrego drena para um afluente do rio Boa Esperança, que, por sua vez, converge para o alto curso do rio Macaé e desemboca no Oceano Atlântico (Facadio, 2023).

A serra de Macaé de Cima faz parte de um dos domínios florestais com a maior diversidade fitogeográfica endêmica: a Mata Atlântica (Lima e Guedes-Bruni, 1997). Originalmente, o município de Nova Friburgo era dominado pela floresta Ombrófila Densa, cujo estabelecimento é condicionado por temperaturas elevadas durante a maior parte do ano e alta precipitação (Veloso et al., 1991). A dinâmica atual das variações entre os estratos

dominantes, principalmente influenciada pelas condições climáticas regionais e locais, ocorre de forma natural, embora seja exacerbada pelas interferências humanas (Nehren et al., 2013).



Nos estudos conduzidos por Bolsas (2023) na mesma região, foram realizados incêndios experimentais em duas áreas distintas: uma em um fragmento florestal de sucessão secundária (borda) e outra em uma área de vegetação herbácea-arbustiva, ambas situadas a menos de 100 metros de distância uma da outra. As áreas foram previamente preparadas para a realização das queimadas experimentais. Na parcela florestal, os troncos das árvores foram cortados à altura do peito para evitar a propagação das chamas pelas copas, mantendo a queimada restrita à superfície. O material mais fino resultante desses cortes foi utilizado para iniciar o fogo.

Foram identificados na composição da vegetação, através da análise de pólen atual, famílias e gêneros de tipos arbóreos, arbustivos e herbáceos (Ishimine, 2023). As amostras de superfície do solo foram coletadas após o incêndio. As parcelas foram identificadas como: A (floresta degradada) e B (vegetação herbácea-arbustiva).

Em cada parcela, foram coletadas 20 amostras de superfície do solo com partículas de carvão, distribuídas por toda a área queimada, em intervalos de 20 cm entre elas, em ambas as parcelas. Todas as amostras foram conservadas em sacos hermeticamente fechados e mantidos em ambiente refrigerado. A preparação química das amostras segue a adaptação proposta por

Stevenson e Haberle (2005). Na preparação foi adicionado peróxido de hidrogênio a 10%, para remover o material orgânico dos sedimentos, exceto o carvão.

Para a análise das partículas de carvão, foi utilizado um microscópio estereoscópico com câmera, empregando o *software* de reconhecimento de imagem CharTool 3.2 com Image-J (Snitker, 2020; Stevenson e Haberle, 2005). O eixo mais longo de cada fragmento foi visualizado com ampliação de 20x e medido microscopicamente pelo *software* CharTool 3.2, utilizando uma lâmina com escala de 1 cm como referência. Os dados foram analisados estatisticamente no *software* TiliaGraph 3.0.1.

As observações das morfologias do carvão foram realizadas à medida que o total de carvão era contabilizado. Os fragmentos foram classificados nas categorias morfológicas mais comuns: poligonal, blocos e alongados, conforme descrito por Courtney Mustaphi e Pisaric (2014). Além disso, foram identificadas algumas subcategorias morfológicas. A classificação dos fragmentos foi baseada principalmente na forma e na textura da superfície dos fragmentos (Courtney Mustaphi e Pisaric, 2014).

A representação das amostras foi baseada no total de partículas coletadas em cada parcela (floresta degradada e herbácea-arbustiva) após o fogo. Os principais aspectos morfológicos usados para a identificação e classificação das partículas foram as características da superfície, avaliando se eram planas, estriadas ou perfuradas de acordo com os aspectos morfométricos e morfológicos estabelecidos em Scott et al., (2000), Crawford (2015) e Feurdean (2021).

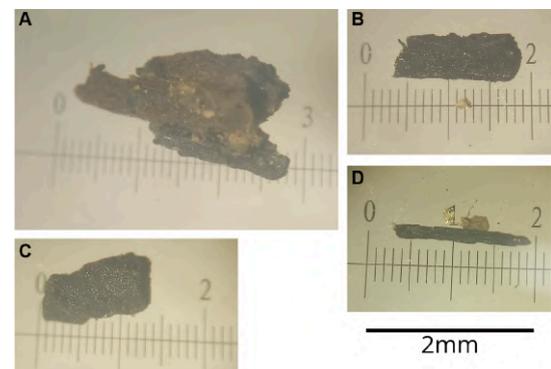
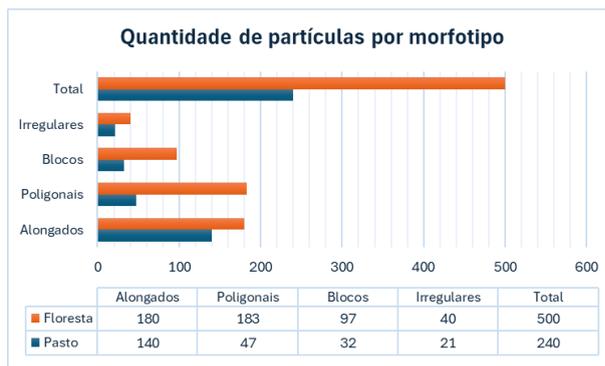
Durante a identificação das partículas foi possível determinar sua vegetação de origem distinguindo os morfotipos poligonais e blocos como provenientes de madeiras (troncos e galhos), e os morfotipos alongados (e perfurados) como provenientes de folhas de gramíneas. Os morfotipos irregulares foram separados dessa classificação por não se adequarem às medidas morfométricas estabelecidas (Enache e Cumming, 2006; Jensen et al., 2007; Courtney Mustaphi e Pisaric, 2014).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na parcela do pasto foram analisadas um total de 240 partículas de carvão. Dentre elas, o morfotipo dominante foi o alongado (58,3%), seguido pelo morfotipo poligonais (19,6%), em blocos (13,3%) e irregulares (8,8%). A significativa presença de morfotipos relacionados à madeira (32,9%), foi atribuída à queima de galhos de vegetação arbustiva que se desenvolvem na matriz predominante de morfotipos de folhas de gramíneas e que foram utilizadas para iniciar o incêndio experimental.

Na parcela de floresta degradada foram analisadas um total de 500 partículas de carvão. Avaliou-se que os morfotipos dominantes foram os do tipo poligonais (36,6%) e alongados (36%), seguidos dos morfotipos em blocos (19,4%) e irregulares (8%). Apesar da alta representação de partículas identificadas como madeira (63,4%), oriunda principalmente de troncos e galhos de árvores jovens e/ou mortas, também ocorreu presença abundante de partículas relacionadas às gramíneas (36%).

Tabela 1: Quantidade de partículas de carvão por morfotipo **Figura 2:** A) Carvão do morfotipo poligonal; B) Carvão do morfotipo bloco; C) Carvão do morfotipo irregular; D) Carvão do morfotipo alongado



A presença de partículas de carvão de gramíneas na floresta indica ampla distribuição de herbáceas e estágios sucessionais iniciais da vegetação. A mudança de estrutura da cobertura florestal pode ser explicada pela degradação da vegetação através do efeito de borda no local levantado (Bolsas, 2023). A presença marcante de gramíneas em cobertura florestal, também indica que esses estágios sucessionais iniciais da vegetação podem ser devido à degradação por fogo (Fidelis et al., 2008). Nesse caso, sugere-se que casos anteriores e recorrentes de fogo podem ter desempenhado papel relevante na manutenção de gramíneas.

As análises da morfologia de partículas de carvão macroscópicas (>1 mm) podem ter boa acurácia para indicar a origem dos materiais queimados. As características bem preservadas apresentadas pelas partículas, que determinam os morfotipos de carvão em tamanho milimétrico, também é reproduzida em partículas de tamanhos acima de 150µm, permitindo assim a comparação com as partículas de carvão encontradas em testemunhos em profundidades maiores ao longo do perfil de solo.

Outro aspecto que foi observado com o presente estudo é que a temperatura do fogo alcançada no incêndio experimental na parcela da floresta atingiu ~500°C, resultando em grande quantidade de cinzas (Bolsas, 2023). Ainda assim, notou-se que houve uma grande produção de partículas de carvão que foram encontradas em todas as amostras de superfície

coletadas. Esse fenômeno na floresta degradada confirma que o fogo superficial queima a vegetação de forma espacialmente não uniforme, podendo produzir maior quantidade de material parcialmente carbonizado em certas áreas, e que mesmo sob altas temperaturas ainda é possível obter registros precisos sobre os combustíveis que foram queimados, auxiliando na comparação com as partículas em registros paleoambientais.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo analisou amostras de partículas de carvão coletadas em parcelas de floresta degradada e vegetação herbácea-arbustiva após incêndios experimentais. As partículas foram classificadas em quatro categorias de morfologias de carvão, poligonais, blocos, alongados e irregulares, que permitiram sua distinção entre seus materiais de origem, baseados em Mustaphi e Pisaric, (2014). As partículas classificadas como poligonais e blocos foram relacionadas a madeira (troncos e galhos) e as classificadas como folhas de gramíneas com origem de alongados.

Na parcela de floresta degradada, observou-se um predomínio esperado de partículas cuja origem era de madeira (poligonais (36,6%) e blocos (19,3%)), porém, com alta representação de partículas de gramíneas (36%), evidenciando a ampla presença de herbáceas na floresta, indicando degradação e estágios iniciais de sucessão. Além disso, observou-se que mesmo com incêndios que alcançaram altas temperaturas na parcela da floresta degradada, resultando em grande quantidade de cinzas, registros de carvão bem preservados foram abundantes, sugerindo que o fogo não queimou a vegetação de forma espacialmente uniforme. Na parcela de pasto havia uma predominância de partículas originadas de gramíneas (58,3%), mas também presença significativa de partículas de madeira (32,9%), devido ao material utilizado para iniciar o incêndio experimental.

A preservação de características morfológicas das partículas de carvão de diversos tamanhos permite realizar inferências mais precisas sobre a correlação entre as características do fogo em queimadas experimentais no presente e aquelas que ocorreram no passado. Devido a maior diversidade das florestas tropicais, são necessários mais estudos experimentais de queima de diferentes tipos de vegetação conhecida visando entender com maior precisão a influência das propriedades do fogo sobre os principais tipos de vegetação na região estudada.

REFERÊNCIAS

- BEHLING, H. & SAFFORD, H.D. Late-glacial and Holocene vegetation, climate and fire dynamics in the Serra dos Órgãos, Rio de Janeiro State, southeastern Brazil. **Global Change Biology**. n.16, 1661–1671, 2010. DOI: 10.1111/j.1365-2486.2009.02029.x.
- BOLSAS, L. **Efeitos do fogo na relação chuva-sucção do solo em floresta degradada e gramíneas: subsídios ao estudo de movimentos de massa, Nova Friburgo (RJ)**. Dissertação de Mestrado, Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2023.
- BLACKFORD, J. Charcoal fragments in surface samples following a fire and implications for interpretation of subfossil charcoal data. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**. 164. 33-42, 2000. DOI: 10.1016/S0031-0182(00)00173-5.
- CLARK, J.S., PATTERSON, W.A. Background and Local Charcoal in Sediments: Scales of Fire Evidence in the Paleorecord. **Sediment Records of Biomass Burning and Global Change**. NATO ASI Series, vol 51, 1997. Springer, Berlin, Heidelberg. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-642-59171-6_3
- MUSTAPHI, C. C. e PISARIC, M. A classification for macroscopic charcoal morphologies found in Holocene lacustrine sediments. **Progress in Physical Geography** 38 (6), 2014. DOI: 10.1177/0309133314548886.
- CRAWFORD, A. **Understanding fire histories: the importance of charcoal morphology**. Ph.D. Thesis, University of Exeter, Exeter, UK, 2015.
- ENACHE, M. e CUMMING, B. Tracking recorded fires using charcoal morphology from the sedimentary sequence of Prosser Lake, British Columbia (Canada). **Quaternary Research** 65. 282-292, 2006. DOI: 10.1016/j.yqres.2005.09.003.
- FACADIO, A.C.C. **Mudanças ambientais holocênicas e evolução de encostas no alto curso das bacias dos rios Grande e Macaé, Região Serrana do Rio de Janeiro**. Tese de doutorado, Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2023.
- FEURDEAN, A. Experimental production of charcoal morphologies to discriminate fuel source and fire type in the Siberian taiga. **Biogeosciences discussions**, 2021. DOI: 10.5194/bg-2021-1.
- FIDELIS, A. et al. Effects of disturbance on population biology of the rosette species *Eryngium horridum* Malme in grasslands in southern Brazil. **Plant Ecology** 195, 55–67, 2008.
- FINSINGER, W. et al. A guide to screening charcoal peaks in macrocharcoal-area records for fire-episode reconstructions. **The Holocene**, 24(8), 2014, 1002-1008 p.
- FREITAS, L. E., NUNES, F. S. B., OSWALDO CRUZ, J. C. H., VILELA, C., MENDES, S., SILVA, A. C. D., BORGES, G. 2015. **Atlas Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Macaé**. 1ª ed. Rio de Janeiro: Editora Nova Tríade do Brasil, 2015.
- ISHIMINE, K. M. B. **O fogo na degradação ambiental holocênica e atual: pesquisas no alto vale da bacia do Rio Macaé, Nova Friburgo**. Dissertação de Mestrado, Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2024.

JENSEN K, LYNCH EA, CALCOTE R. Interpretation of charcoal morphotypes in sediments from Ferry Lake, Wisconsin, USA: Do different plant fuel sources produce distinctive charcoal morphotypes. **The Holocene** 17: 907–915, 2007.

KEELEY, J. Fire intensity, fire severity and burn severity: A brief review and suggested usage. **International Journal of Wildland Fire**. 18. 116-126, 2009. DOI: 10.1071/WF07049.

LIMA, H.C. DE & GUEDES-BRUNI, R.R (EDS.). 1997. **Serra de Macaé de Cima: Diversidade Florística e Conservação em Mata Atlântica**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 346p.

MCLAUCHLAN, K. K. Fire as a fundamental ecological process: Research advances and frontiers. **Journal of Ecology** 108. 2047-2069, 2020. DOI: 10.1111/1365-2745.13403.

PORTES, M.C.G.O., BEHLING, H., MONTADE, V. AND SAFFORD, H.D.F.(2020) Holocene vegetation, climate and fire dynamics in the Serra dos Órgãos, Rio de Janeiro State, southeastern Brazil. **Acta Palaeobotanica** 2020; 60(2): 438-453. DOI: 10.35535/acpa-2020-0019.

PYNE, S.J., ANDREWS, P.L. e LAVEN, R.D. **Introduction to wildland fire, second edition**. John Wiley & Sons, New York. 769 pp, 1996.

NEHREN, U. et al. Impact of natural climate change and historical land use on landscape development in the Atlantic Forest of Rio de Janeiro, Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, 85(2), 2013, 497-518 p, 2013.

SCOTT, A. C. et al. The taphonomy of charcoal following a recent heathland fire and some implications for the interpretation of fossil charcoal deposits. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology** 164: 1–31, 2000.

SNITKER, G. The Charcoal Quantification Tool (CharTool): A Suite of Open-source Tools for Quantifying Charcoal Fragments and Sediment Properties in Archaeological and Paleoecological Analysis. **Ethnobiology Letters**. 11. 103–115, 2020. DOI: 10.14237/ebl.11.1.2020.1653.

STEVENSON, J., HABERLE, S. Macro Charcoal Analysis: a modified technique used by the department of Archaeology and Natural History. **Paleoworks Technical Papers** 5, p. 7. Department of Archaeology and Natural History, Research School of Pacific and Asian Studies, coombs Building, Australian National University, ACT 0200, Australia, 2005.

VELOSO, H. P., RANGEL FILHO, A. L. & LIMA, J. C. A. 1991. **Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal**. Rio de Janeiro: IBGE, 1991, 123p.

WHITLOCK, C. & LARSEN, C. P. S. 2001. Charcoal as a fire proxy. **Tracking environmental change using lake sediments**. Volume 3: Terrestrial, Algal and Siliceous indicators. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, 2001, 75-97 p.